

磁場中の低次元物質における 熱輸送特性と新奇な非平衡現象の探索

2018 年度

玉木 脩二

主 論 文 要 旨

No.1

報告番号	㊦ 乙 第	号	氏 名	玉木 脩二
主論文題名：				
磁場中の低次元物質における熱輸送特性と新奇な非平衡現象の探索				
(内容の要旨)				
<p>本論文では、電荷を帯びた擬一次元物質を介した熱輸送現象について、磁場を印加して時間反転対称性を破ることで生じる新奇な非平衡現象を探索する。</p> <p>近年、カーボンナノチューブやグラフェンなどの低次元物質で、熱伝導率が系のサイズの増大とともに発散する振る舞いが実験的に報告されている。また一般に熱伝導率が低いことで知られる高分子物質でも、ナノファイバーという一次元状の構造にすると熱伝導率が飛躍的に増大することが観測されている。このような熱輸送の異常な振る舞いは、理論的には、低次元系特有の現象として、フーリエの法則が破れて、熱伝導率が系のサイズのべき乗で発散するものと理解されている。この現象は異常熱輸送と呼ばれ、現在もそのメカニズムや現象の多様性および普遍性に関して、盛んに研究がなされている。このような背景のもと、本研究ではこれまで研究されてこなかった低次元熱輸送における磁場効果について、研究を行った。本研究の成果は大きく二つからなる。</p> <p>一つ目に、電荷を帯びた擬一次元物質が示す異常熱輸送における磁場効果を議論した。一般に絶縁物質の熱輸送は、粒子が非線形バネでつながれた非線形格子モデルによって解析される。しかし、大きな系の非線形ダイナミクスを正確に議論することは数値的にも困難である。そこで本研究では、系が持つ保存量を保存させつつ非線形ダイナミクスをノイズに置き換える工夫をし、厳密な議論ができる可解モデルを考案した。その結果、グリーン・久保公式に現れる熱流の自己相関関数を厳密に導出することに成功し、有限磁場のもとでそれが時間の $3/4$ 乗で減衰することを示した。この指数は従来の理論の予言に当てはまらず、磁場によって新たな普遍クラスが生じることを示唆している。</p> <p>二つ目に、電荷を帯びた擬一次元物質において磁場中の熱流によって誘起される新しい非平衡現象について議論した。電子系では磁場中で熱を流すと、磁場と熱流に直交する起電力が誘起されるというネルンスト効果が知られている。本研究では、これと類似した現象として、磁場中で擬一次元物質に熱流を流したときに、物質を構成する粒子が磁場と直交する方向に変位する現象を見出した。この現象には、非平衡状態だけでなく系の非線形ダイナミクスが必要であることが示される。また有限な変位を誘起する熱力学的力を求めるために線形応答理論を構築し、定量的にその正当性を検証した。さらに、この逆効果として、振動外場によって変位を生じさせると熱流が誘起されることも示した。この効果は、磁場を用いた熱制御に応用できる可能性を秘めている。</p>				

Thesis Abstract

No.

Registration Number	<input checked="" type="checkbox"/> "KOU" No.	<input type="checkbox"/> "OTSU" *Office use only	Name	Shuji Tamaki
Thesis Title Study on Heat Transport and Novel Nonequilibrium Phenomena in Low-Dimensional Materials under Magnetic Fields				
Thesis Summary <p>In this thesis, we study heat transport phenomena via quasi-one-dimensional charged systems and discuss novel nonequilibrium phenomena induced by magnetic fields.</p> <p>In recent years, it has been experimentally reported that the thermal conductivity in low-dimensional materials such as carbon nanotubes and graphene diverges with increasing system size. Also, it has been observed that polymer nanofibers have very high thermal conductivity, while bulk polymers are generally thermal insulators. These anomalous behavior have been intensively studied theoretically. It is now believed that in low-dimensional systems, the Fourier's law is generically broken, and the thermal conductivity exhibits power-law divergence with increasing system size. This phenomenon is called anomalous heat transport and is still actively being debated about its underlying mechanisms, diversity, and universality. In this background, we theoretically discuss magnetic effects on low-dimensional heat transport, which have never been seriously studied so far. This thesis consists of two results.</p> <p>First, we discuss magnetic effects on anomalous heat transport via quasi-one-dimensional charged systems. In general, heat transport in dielectrics is analyzed by using nonlinear lattice models where neighboring particles are connected via a nonlinear spring. However, accurate analysis of nonlinear dynamics in large systems is generically hard even with numerical methods. Then, we introduce an exactly solvable model by replacing nonlinear dynamics with stochastic noise that preserves conserved quantities. Using this model, we derive the exact solution of the heat-current autocorrelation function which exhibits anomalous slow decay with the exponent $3/4$. This exponent differs from the universal values predicted in the previous theory, and thus implies that magnetic fields lead to a new universality class.</p> <p>Second, we discuss novel nonequilibrium phenomena induced by heat current via quasi-one-dimensional charged systems under magnetic fields. In electric systems, the Nernst effect is well known, which means that heat current under magnetic fields induces electromotive force in the direction perpendicular to both the magnetic fields and heat current. We found an analogous phenomenon in our setup. That is, constituent particles deviate in a direction perpendicular to both the magnetic fields and heat current. We show that this phenomenon requires nonlinear dynamics as well as nonequilibrium state. We developed a linear response analysis to obtain the thermodynamic force which induces the finite deviation. Finally, we demonstrate the inverse effect where heat current is generated by inducing particle deviation applying oscillating external forces under magnetic fields. This effect may provide a basic mechanism for controlling heat.</p>				